

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 6. Auflage XXIII

Vorwort zur 7. Auflage XXV

Vorwort zur 8. Auflage XXVII

1	Die Rohmaterialien	1
1.1	Das Malz	1
1.1.1	Gerstenmalz	2
1.1.2	Malze der Formengruppe Weizen (<i>Triticum</i> L.)	5
1.1.2.1	Weizenmalz	5
1.1.2.2	Dinkel-, Spelzmalz	6
1.1.2.3	Einkornmalz	7
1.1.2.4	Emmermalz	7
1.1.2.5	Tetraploides Nacktweizenmalz, z.B. Hartweizen- und Kamutmalz	8
1.1.2.6	Triticalemalz	8
1.1.3	Roggenmalz	9
1.1.4	Hafermalz	10
1.1.5	Spezialmalze	11
1.1.5.1	Röstmalz	11
1.1.5.2	Das Röstmalzbier	14
1.1.5.3	Karamellmalze	15
1.1.5.4	Brüh- oder Melanoidinmalze	16
1.1.5.5	Spitz- und Kurzmalze	16
1.1.5.6	Sauermalze	17
1.1.5.7	Glutenfreie Malze	18
1.1.6	Die Annahme des Malzes	21
1.2	Ersatzstoffe des Malzes	21
1.2.1	Maischbottichrohfrucht	23
1.2.1.1	Ungemälzte Gerste	23
1.2.1.2	Ungemälzter Weizen	25

1.2.1.3	Ungemälzter Roggen, Triticale, Hafer	26
1.2.1.4	Mais	26
1.2.1.5	Reis	30
1.2.1.6	Hirse (speziell Sorghum)	32
1.2.1.7	Eiweißreiche Hülsenfrüchte	35
1.2.2	Würzepfannenrohfrucht	35
1.2.2.1	Sirupe	35
1.2.2.2	Zucker (allgemein)	38
1.2.3	Industrielle Enzympräparate	40
1.2.3.1	α -Amylasen	42
1.2.3.2	β -Amylasen	44
1.2.3.3	Isoamylase, Pullulanase	44
1.2.3.4	Amyloglucosidase	45
1.2.3.5	β -Glucanasen	45
1.2.3.6	Cellulasen	45
1.2.3.7	Pentosanasen	45
1.2.3.8	Proteasen	46
1.2.3.9	Schlussfolgerung	46
1.3	Das Brauwasser	47
1.3.1	Allgemeines	47
1.3.2	Die Härte des Wassers	48
1.3.3	Allgemeine Gesichtspunkte zur Wirkung der Wasser-Ionen	50
1.3.4	Wasser-Ionen und Acidität	51
1.3.5	Berechnung der Alkalität eines Brauwassers	54
1.3.6	Die Auswirkungen einer Aciditätsverminderung	56
1.3.6.1	Enzyme	56
1.3.6.2	Ausbeute	57
1.3.6.3	Beschaffenheit der Würze	57
1.3.6.4	Ausnutzung der Hopfenbitterstoffe	57
1.3.6.5	Gärung	57
1.3.6.6	Dunkle Malze	57
1.3.7	Einflüsse verschiedener Ionen und sonstiger Bestandteile des Wassers	58
1.3.8	Aufbereitung des Brauwassers	62
1.3.8.1	Kochen	62
1.3.8.2	Entcarbonisierung mit gesättigtem Kalkwasser	64
1.3.8.3	Kontinuierlich arbeitende Enthärtungsanlagen	67
1.3.8.4	Ionenaustauscher	70
1.3.8.5	Das Elektro-Osmoseverfahren	80
1.3.8.6	Die umgekehrte Osmose	81
1.3.8.7	Die Elektrodialyse	87
1.3.8.8	Kosten	87
1.3.8.9	Zusatz von Calciumsulfat oder Calciumchlorid	88
1.3.8.10	Neutralisation von Hydrogencarbonaten	89

- 1.3.8.11 Sonstige Methoden zur Aufbereitung des Brauwassers 91
- 1.3.8.12 Die Sterilisierung von Wasser 93
- 1.3.8.13 Klärung des Wassers 98
- 1.3.8.14 Die Entgasung/Entlüftung des Wassers 98
- 1.3.9 Auswirkung der Wasseraufbereitung 100
- 1.3.10 Die biologische Säuerung 102
- 1.3.11 Abschließende Bemerkungen zum Thema „Brauwasser“ 108

- 1.4 Der Hopfen 109
 - 1.4.1 Allgemeines 109
 - 1.4.2 Botanik der Hopfenpflanze 109
 - 1.4.3 Wachstumsverlauf, Pflege und Anbaugegebenheiten 112
 - 1.4.3.1 Wachstumsverlauf und Pflege 112
 - 1.4.3.2 Standortansprüche 114
 - 1.4.3.3 Aufleitungsarten 115
 - 1.4.3.4 Düngung 115
 - 1.4.3.5 Erträge 115
 - 1.4.3.6 Ernte 115
 - 1.4.3.7 Trocknung 116
 - 1.4.3.8 Verpackung 117
 - 1.4.3.9 Lagerung 118
 - 1.4.4 Hopfensorten 119
 - 1.4.5 Die Hopfenanbauggebiete 122
 - 1.4.5.1 Die deutschen Anbauggebiete 123
 - 1.4.5.2 Die Zertifizierung des Hopfens 123
 - 1.4.5.3 Anbauggebiete weltweit 124
 - 1.4.6 Krankheiten des Hopfens 126
 - 1.4.6.1 Peronospora 126
 - 1.4.6.2 Echter Mehltau 126
 - 1.4.6.3 Botrytis 126
 - 1.4.6.4 Die Welke 127
 - 1.4.6.5 Die Fusariumwelke 127
 - 1.4.6.6 Die Hopfenblattlaus 127
 - 1.4.6.7 Die Hopfenspinmilbe 128
 - 1.4.6.8 Die Kräuselkrankheit 128
 - 1.4.6.9 Doldensterben 128
 - 1.4.7 Chemische Zusammensetzung des Hopfens 129
 - 1.4.7.1 Wassergehalt 129
 - 1.4.7.2 Hopfenbitterstoffe 130
 - 1.4.7.3 Der Bitterwert des Hopfens 134
 - 1.4.7.4 Die bakterio-statische Wirkung der Hopfenbitterstoffe 136
 - 1.4.7.5 Die Bitterstoffgehalte verschiedener Hopfen 137
 - 1.4.7.6 Die Hopfenöle 141
 - 1.4.7.7 Polyphenole 150
 - 1.4.7.8 Eiweißgehalt 157

- 1.4.7.9 Sonstige Inhaltsstoffe 157
- 1.4.8 Beurteilung des Hopfens 159
 - 1.4.8.1 Wertgebende Eigenschaften 159
 - 1.4.8.2 Wertmindernde Eigenschaften 160
 - 1.4.8.3 Bonitierung nach Punkten 160
- 1.4.9 Hopfenprodukte 160
 - 1.4.9.1 „Normale“ Hopfenpellets 161
 - 1.4.9.2 Angereicherte Hopfenpellets 162
 - 1.4.9.3 Bentonitpellets 163
 - 1.4.9.4 Hopfenextrakte 167
 - 1.4.9.5 Heißwasserextrakt 174
 - 1.4.9.6 Xanthohumol-Extrakt 175
 - 1.4.9.7 Hopfenextraktpulver 176
 - 1.4.9.8 Stabilisierte/isomerisierte Pellets 177
 - 1.4.9.9 Isomerisierte Extrakte 178
 - 1.4.9.10 Sonstige Extrakte 182
- 2 Das Schrotten des Malzes 185**
 - 2.1 Allgemeines 185
 - 2.2 Die Mahlprodukte, ihre Löslichkeit und Ergiebigkeit 186
 - 2.3 Schrotzusammensetzung, Volumenverhältnisse und Abläuterung 189
 - 2.4 Beurteilung des Schrotes 192
 - 2.4.1 Empirische Prüfung des Schrotes 193
 - 2.4.2 Schrotsortierung 193
 - 2.4.3 Probenahme 194
 - 2.5 Schrotmühlen 195
 - 2.5.1 Zweiwalzenmühle 195
 - 2.5.2 Vierwalzenmühlen 196
 - 2.5.3 Sechswalzenmühlen 199
 - 2.5.4 Fünfwalzenmühle 203
 - 2.5.5 Zusätzliche Einrichtungen 204
 - 2.5.5.1 Konditionierung des Malzes 204
 - 2.5.5.2 Spelzentrennung 207
 - 2.5.5.3 Malzreinigung 207
 - 2.5.5.4 Malzwaage 208
 - 2.5.5.5 Der Schrotkasten 208
 - 2.5.6 Betrieb und Kontrolle von Schrotmühlen (Trockenschrotung bzw. mit Konditionierung) 210
 - 2.5.6.1 Aufstellung 210
 - 2.5.6.2 Leistung 210
 - 2.5.6.3 Drehzahlen 210

2.5.6.4	Einstellung des Walzenabstandes	210
2.5.6.5	Durchmesser und Riffelung der Walzen	211
2.5.6.6	Siebe	211
2.5.6.7	Probenehmer	212
2.5.6.8	Spezifischer Kraftbedarf	212
2.5.7	Nassschrotung	212
2.5.7.1	Das Prinzip der Nassschrotung	212
2.5.7.2	Nassschrot-Mühlen	213
2.5.7.3	Der Vorgang der Nassschrotung	213
2.5.7.4	Der Kraftbedarf	214
2.5.7.5	Zusatzapparate	214
2.5.7.6	Die Beurteilung des Nassschrotes	214
2.5.8	Die optimierte Nassschrotung	214
2.5.8.1	Die Verbesserung der Weiche	215
2.5.8.2	Das Schroten des definiert geweichten Malzes	218
2.5.8.3	Der Effekt der definierten Weiche	218
2.5.9	Dispergiertechnik	218
2.5.10	Herstellung von Pulverschrot	221
2.5.10.1	Schlag- oder Prallmühlen	221
2.5.10.2	Nassschrotmühlen für Feinschrot	224
2.5.10.3	Die Zusammensetzung der Pulverschrote	225
2.5.10.4	Anwendung und weitere Entwicklungen	226
2.6	Einflüsse auf die Beschaffenheit und die Zusammensetzung des Schrotes	227
2.6.1	Die Auflösung	227
2.6.2	Der Wassergehalt des Malzes	228
2.6.3	Die Sortierung des Malzes	228
2.6.4	Das angewandte Maischverfahren	229
2.6.5	Die Art der Abläutervorrichtungen	229
2.6.6	Der Einfluss verbesserter Schrotqualität auf Würzezusammensetzung und Ausbeute	230
2.7	Die Anordnung der Schroterei	230
3	Das Maischen	233
3.1	Theorie des Maischens	233
3.1.1	Stärkeabbau	234
3.1.1.1	Die Stärke	234
3.1.1.2	Das Verhalten der Stärke	236
3.1.1.3	Die stärkeabbauenden Enzyme	238
3.1.1.4	Die kombinierte Wirkung der stärkeabbauenden Enzyme	242
3.1.1.5	Der Stärkeabbau in der Praxis der Bierbereitung	245
3.1.2	Eiweißabbau	251
3.1.2.1	Einteilung und Eigenschaften der Eiweißstoffe	252

3.1.2.2	Die Eiweißstoffe der Gerste bzw. des Malzes	253
3.1.2.3	Die proteolytischen Enzyme	254
3.1.2.4	Der Ablauf des Eiweißabbaus	258
3.1.2.5	Ziel des Eiweißabbaus	260
3.1.2.6	Kontrolle des Eiweißabbaus	261
3.1.2.7	Der Eiweißabbau in der Praxis der Bierbereitung	262
3.1.3	Abbau der Hemicellulosen und Gummistoffe	270
3.1.3.1	Die Stütz- und Gerüstsubstanzen	270
3.1.3.2	Die cytolytischen Enzyme	272
3.1.3.3	Abbau der Stütz- und Gerüstsubstanzen	274
3.1.3.4	Technologische Einflussnahme auf den Abbau der Stütz- und Gerüstsubstanzen	276
3.1.3.5	Kontrolle des Abbaus der Stütz- und Gerüstsubstanzen	282
3.1.4	Veränderung der Phosphate	284
3.1.5	Abbau der Lipide	286
3.1.5.1	Die Enzyme des Fettabbaus und der Lipidoxidation	286
3.1.5.2	Der Abbau der Lipide beim Maischen	288
3.1.6	Das Verhalten der Polyphenole beim Maischen	292
3.1.6.1	Vorkommen und Bedeutung der Polyphenole	292
3.1.6.2	Analyse der phenolischen Substanzen	293
3.1.6.3	Oxidasen	294
3.1.6.4	Die Zusammensetzung der Polyphenole	295
3.1.6.5	Technologische Einflussnahme auf die Polyphenole beim Maischen	295
3.1.6.6	Die Bedeutung der Veränderungen der Polyphenole	298
3.1.7	Sonstige Vorgänge beim Maischen – die Freisetzung von Zink	298
3.1.7.1	Die thermische Belastung der Maische	299
3.1.7.2	Das Spurenelement Zink	299
3.1.7.3	Die Veränderungen durch eine Oxidation	301
3.2	Praxis des Maischens	303
3.2.1	Allgemeine Gesichtspunkte	303
3.2.2	Einleitung des Maischprozesses	307
3.2.2.1	Der Hauptguss	308
3.2.2.2	Gussführung	310
3.2.2.3	Die Nachgüsse	314
3.2.2.4	Die Temperatur des Einmaischwassers	314
3.2.2.5	Die Dauer des Einmaischens	315
3.2.3	Maischgefäße	317
3.2.3.1	Der Maischbottich	317
3.2.3.2	Die Maischpfanne	331
3.2.3.3	Der Energiebedarf beim Maischen	332
3.2.4	Maischverfahren	333
3.2.4.1	Der Grundgedanke des Maischprozesses	334
3.2.4.2	Das Dreimaischverfahren	334

- 3.2.4.3 Das Zweimaischverfahren 341
- 3.2.4.4 Das Einmaischverfahren 346
- 3.2.4.5 Das Hochkurzmaisverfahren 349
- 3.2.4.6 Springmaisverfahren 352
- 3.2.4.7 Schrotmaisverfahren 352
- 3.2.4.8 Spelzentrennung bei Dekoktionsverfahren 354
- 3.2.4.9 Druckmaisverfahren 355
- 3.2.4.10 Mengenmäßige Ermittlung der Kochmaischen 356
- 3.2.4.11 Ergänzende Bemerkungen zu den Dekoktionsverfahren 356
- 3.2.4.12 Die Infusionsverfahren 357
- 3.2.4.13 Infusionsverfahren mit fallender oder konstanter Temperatur 361
- 3.2.4.14 Abschließende Bemerkungen zu Infusionsverfahren 361
- 3.2.5 Die Verarbeitung von Rohfrucht 363
 - 3.2.5.1 Allgemeine Gesichtspunkte 363
 - 3.2.5.2 Maischverfahren mit Reisrohfrucht 368
 - 3.2.5.3 Maischverfahren mit Maisrohfrucht 371
 - 3.2.5.4 Maischverfahren mit Gerstenrohfrucht 374
 - 3.2.5.5 Maischverfahren mit Sorghumrohfrucht 376
 - 3.2.5.6 Menge der Rohfruchtzugabe 377
- 3.2.6 Spezielle Probleme beim Maischen 377
 - 3.2.6.1 Nassschrotung 377
 - 3.2.6.2 Gewinnung und Zusatz eines Malzauszuges 378
 - 3.2.6.3 Maischverfahren zur Erhöhung des Glucosegehaltes 378
- 3.2.7 Kontrolle des Maischprozesses 380
 - 3.2.7.1 Die Temperaturkontrolle 381
 - 3.2.7.2 Mengenkontrolle 381
 - 3.2.7.3 pH-Kontrolle 381
 - 3.2.7.4 Die Kontrolle der Stoffumwandlungen 381
 - 3.2.7.5 Der Eiweißabbau 382
 - 3.2.7.6 Der Stärkeabbau 382
 - 3.2.7.7 Die Kontrolle des β -Glucanabbaus 384
- 3.2.8 Wahl des Maischverfahrens 385
 - 3.2.8.1 Anpassung an den Rohstoff Malz 385
 - 3.2.8.2 Anpassung an moderne Sudwerke 386
 - 3.2.8.3 Anpassung an bestimmte Charaktereigenschaften der Biere 387
 - 3.2.8.4 Beispiele für die Entwicklung verschiedener Biertypen 389
- 4 Die Gewinnung der Würze – das Abläutern 397**
 - 4.1 Das Abläutern mit dem Läuterbottich 397
 - 4.1.1 Prinzip der Würzegewinnung mit dem Läuterbottich 398
 - 4.1.2 Läuterbottich 399
 - 4.1.2.1 Ausführung des Bottichs 399
 - 4.1.2.2 Fassungsvermögen 400
 - 4.1.2.3 Läuterbottichgröße 401

- 4.1.2.4 Der Senkboden 401
- 4.1.2.5 Abstand des Senkbodens vom Läuterbottichboden 403
- 4.1.2.6 Läuterrohre 404
- 4.1.2.7 Quellgebiet der Läuterrohre 404
- 4.1.2.8 Der klassische Läuterhahn 405
- 4.1.2.9 Moderne Läutersysteme 406
- 4.1.2.10 Sonstige Ausrüstung 412
- 4.1.3 Läutervorgang mit dem Läuterbottich 412
 - 4.1.3.1 Vorbereitung des Läuterbottichs 412
 - 4.1.3.2 Das Einlagern der Maische 412
 - 4.1.3.3 Die Filterschicht 413
 - 4.1.3.4 Vorschießen und Trübwürzepumpen 413
 - 4.1.3.5 Das Abläutern der Vorderwürze 414
 - 4.1.3.6 Die Vorderwürze 420
 - 4.1.3.7 Das Abläutern der Nachgüsse 421
 - 4.1.3.8 Aufhack- und Schneidmaschinen 427
 - 4.1.3.9 Die Arbeitsweise eines klassischen Läuterbottichs (185 kg/m², Zentralabläuterung) 430
 - 4.1.3.10 Optimierte klassische Abläuterung 432
 - 4.1.3.11 Die Arbeitsweise moderner Läuterbottiche nach dem derzeitigen Stand (12 Sude/Tag) 434
- 4.1.4 Qualität der Abläuterung 438
 - 4.1.4.1 Die Zusammensetzung der Würze 438
 - 4.1.4.2 Die Oxidation der Würze 438
 - 4.1.4.3 Klarheit der Würze 439
 - 4.1.4.4 Gehalte an höheren freien Fettsäuren 441
 - 4.1.4.5 Die Jodreaktion der Würze 443
 - 4.1.4.6 Sonstige Themen in Verbindung mit dem Trubstoffgehalt der Läuterwürze 443
- 4.1.5 Entfernung der Treber und Abwasseranfall 444
 - 4.1.5.1 Entfernung der Treber 444
 - 4.1.5.2 Abwassermenge 444
- 4.1.6 Kontrolle der Anschwänz- und Aufschneidarbeit 445
 - 4.1.6.1 Überprüfung während des Abläuterns 445
 - 4.1.6.2 Untersuchung der Treber 445
- 4.1.7 Leistung und Wirtschaftlichkeit des Läuterbottichs 447
 - 4.1.7.1 Sudzahl 447
 - 4.1.7.2 Sudhausausbeute 448
 - 4.1.7.3 Anpassung an Variationen der Schüttung 449
- 4.2 Das Abläutern mit dem Maischefilter 449
 - 4.2.1 Prinzip der Würzegewinnung mit dem Maischefilter 449
 - 4.2.2 Maischefilter (konventionell bis 1990) 450
 - 4.2.2.1 Das Traggestell 450
 - 4.2.2.2 Rahmen oder Kammern 451

- 4.2.2.3 Platten oder Roste 452
- 4.2.2.4 Filtertücher 454
- 4.2.2.5 Weitere Hilfseinrichtungen des Filters 456
- 4.2.3 Läutervorgang im Maischefilter (konventionell bis 1990) 457
 - 4.2.3.1 Vorbereitende Arbeiten 457
 - 4.2.3.2 Füllen des Filters 457
 - 4.2.3.3 Die Abläuterung der Nachgüsse 461
- 4.2.4 Qualität der Abläuterung beim Maischefilter 466
 - 4.2.4.1 Die Zusammensetzung der Würze 466
 - 4.2.4.2 Die Oxidation der Würze 467
 - 4.2.4.3 Die Klärung der Würze 467
- 4.2.5 Entfernung der Treber und Abwasseranfall 470
 - 4.2.5.1 Öffnen des Filters und Austrebern 470
 - 4.2.5.2 Die Abwassermenge 470
- 4.2.6 Kontrolle der Maischefilterarbeit 471
 - 4.2.6.1 Kontrolle während des Abläuterns 471
 - 4.2.6.2 Austrebern des Filters 471
 - 4.2.6.3 Die Untersuchung der Treber 471
- 4.2.7 Leistung des Maischefilters 472
 - 4.2.7.1 Sudhausausbeute 472
 - 4.2.7.2 Tägliche Sudzahl 472
- 4.2.8 Vergleich der konventionellen Maischefilter mit den seinerzeitigen Läuterbottichen 473
 - 4.2.8.1 Vorteile 473
 - 4.2.8.2 Nachteile 473
- 4.3 Die Maischefilter der neuen Generation 474
 - 4.3.1 Die Hochdruck-Filterpresse 474
 - 4.3.2 Dünnschicht-Maischefilter mit Membranen 474
 - 4.3.2.1 Aufbau des Maischefilters 475
 - 4.3.2.2 Die Arbeitsweise des Maischefilters 477
 - 4.3.2.3 Voraussetzungen für den Betrieb des Dünnschicht-Maischefilters 481
 - 4.3.2.4 Die Leistung des Dünnschichtfilters 482
 - 4.3.3 Dünnschicht-Kammerfilter 483
 - 4.3.3.1 Der Aufbau des Dünnschicht-Kammerfilters 483
 - 4.3.3.2 Die Arbeitsweise des Dünnschicht-Kammerfilters 485
 - 4.3.3.3 Voraussetzungen für den Betrieb des Dünnschicht-Kammerfilters 488
 - 4.3.3.4 Die Leistung des Dünnschicht-Kammerfilters (am Beispiel eines Filters mit 60 Kammern) 489
 - 4.3.3.5 Qualität der Abläuterung 489
 - 4.3.4 Schlussfolgerungen zu den beiden Systemen an Dünnschicht-Maischefiltern und Vergleich zu den modernen Läuterbottichen 490

4.4	Der Strainmaster	491
4.4.1	Elemente des Strainmasters	491
4.4.2	Abläutervorgang mit dem Strainmaster	492
4.4.2.1	Das Prinzip	492
4.4.2.2	Abmaischen	493
4.4.2.3	Abläutern der Vorderwürze	493
4.4.2.4	Abläutern der Nachgüsse	493
4.4.2.5	Austrebern	495
4.4.3	Leistung des Strainmasters	495
4.4.3.1	Sudzahl	495
4.4.3.2	Ausbeute	495
4.4.4	Qualität der Abläuterung beim Strainmaster	496
4.4.4.1	Würzezusammensetzung	496
4.4.4.2	Die Oxidation der Würze	496
4.4.4.3	Die Trübung der Strainmasterwürzen	496
4.4.5	Vor- und Nachteile des Strainmasters	497
4.4.6	Kontinuierliche Läutermethoden	497
4.5	Wirtschaftlicher Vergleich der gängigen Systeme	499
4.6	Das Vorlaufgefäß	500
5	Das Kochen und Hopfen der Würze	503
5.1	Bedeutung des Würzekochens	503
5.2	Würzekochsysteme	505
5.2.1	Würzepfannen	505
5.2.1.1	Fassungsvermögen	505
5.2.1.2	Material	505
5.2.1.3	Grundfläche der Pfannen	506
5.2.1.4	Verhältnis der Flüssigkeitshöhe zum Durchmesser	506
5.2.1.5	Feuerpfannen	506
5.2.1.6	Öl- oder gasbeheizte Pfannen	507
5.2.1.7	Dampfbeheizte Pfannen	507
5.2.1.8	Pfannen für Druckkochung	518
5.2.1.9	Außenkocher mit Entspannungsverdampfung	520
5.2.1.10	Abzug	521
5.2.1.11	Rührwerke	521
5.2.2	Anlagen zur kontinuierlichen Würzekochung	521
5.2.2.1	Anlage mit 120–122°C Kochtemperatur und anschließender Mehrfachentspannung	522
5.2.2.2	Anlage mit 125–140°C Kochtemperatur und zweistufiger Entspannung	522
5.2.3	Würzekochung – Zusatzsysteme	523
5.2.3.1	Das Aufheizen der Würze von der Abläutertemperatur (70–72°C) auf die Kochtemperatur	523

- 5.2.3.2 Nachbehandlung der Würze nach dem eigentlichen Kochprozess 524
- 5.2.3.3 Verfahren mit Nachverdampfung im Vakuum – zwischen Whirlpool und Plattenkühler 526
- 5.3 Physikalische Vorgänge bei der Würzekochung 529
 - 5.3.1 Verdampfung des überschüssigen Wassers 529
 - 5.3.2 Zerstörung der Enzyme des Malzes 529
 - 5.3.3 Sterilisierung der Würze 530
 - 5.3.4 Erhöhung der Acidität der Würze beim Kochen 530
- 5.4 Die Koagulation des Eiweißes 531
 - 5.4.1 Allgemeine Gesichtspunkte 531
 - 5.4.2 Beurteilung der Eiweißkoagulation 535
 - 5.4.3 Physikalische Faktoren der Eiweißkoagulation 536
 - 5.4.3.1 Kochdauer 536
 - 5.4.3.2 Art und Weise des Kochens 536
 - 5.4.3.3 Form der Pfanne 538
 - 5.4.3.4 Kochung der Würze mittels verschiedener Außenkochsysteme 538
 - 5.4.3.5 Kochung bei überbarometrischem Druck 539
 - 5.4.3.6 Hochtemperatur-Würzekochsysteme 540
 - 5.4.3.7 Moderne Kochverfahren 540
 - 5.4.4 Einfluss der Würzezusammensetzung auf die Eiweißkoagulation 540
 - 5.4.4.1 Malzauflösung 541
 - 5.4.4.2 Abdarrtemperatur 542
 - 5.4.4.3 Luftfrei arbeitende Sudwerke 542
 - 5.4.4.4 Sonstige Faktoren 542
 - 5.4.5 Beginn des Würzekochens 543
 - 5.4.6 Zusätze zur Unterstützung der Eiweißfällung 543
 - 5.4.6.1 Bentonite und Kieselgele 543
 - 5.4.6.2 Polyvinylpolypyrrolidon (PVPP) 543
 - 5.4.6.3 Tannin 543
 - 5.4.6.4 Karaghen-Moos 544
- 5.5 Die Hopfung der Würze 544
 - 5.5.1 Lösung und Umwandlung der Bittersäuren 544
 - 5.5.1.1 α -Säure 544
 - 5.5.1.2 β -Säure 547
 - 5.5.1.3 Die Weich- und Hartharze des Hopfens 547
 - 5.5.1.4 Faktoren, die die Isomerisierung der α -Säuren beeinflussen 547
 - 5.5.1.5 Ausnutzung der Bitterstoffe 554
 - 5.5.2 Wirkung der Hopfenpolyphenole 555
 - 5.5.3 Die Hopfenöle beim Würzekochen 560
 - 5.5.4 Die Fettsäuren des Hopfens beim Würzekochen und ihr Verbleib 567

5.5.5	Eiweißstoffe des Hopfens	568
5.5.6	Höhe der Hopfengabe	569
5.5.6.1	Angabe	569
5.5.6.2	Bitterstoffgehalt	569
5.5.6.3	Bemessung der Bitterstoffgabe	570
5.5.6.4	Ausnutzung des Hopfens	570
5.5.7	Dosierung des Hopfens	571
5.5.7.1	Doldenhopfen	571
5.5.7.2	Zerkleinerung	571
5.5.7.3	Andere Vorschläge zur Hopfeneinsparung	573
5.5.7.4	Der Hopfenentlauger	573
5.5.7.5	Hopfenpulver	574
5.5.7.6	Hopfenextrakte	575
5.5.7.7	Ethanolextrakt	576
5.5.7.8	CO ₂ -Extrakte	576
5.5.7.9	Isomerisierte Hopfenextrakte	577
5.5.7.10	Zeitpunkt und die Aufteilung der Hopfengabe	578
5.5.7.11	Die automatische Dosierung des Hopfens	580
5.6	Das Verhalten von Aromastoffen der Würze	581
5.6.1	Thermisch oxidative Veränderungen von Produkten des Lipidabbaus	582
5.6.2	Veränderung von Phenolcarbonsäuren	584
5.6.3	Bildung von Maillard-Produkten	584
5.6.3.1	Die Maillard-Reaktion	584
5.6.3.2	Strecker-Abbau von Aminosäuren	585
5.6.3.3	Pyrazine	585
5.6.3.4	Pyrrole	586
5.6.3.5	γ-Pyrone	587
5.6.3.6	Sonstige Verbindungen	587
5.6.3.7	Das Verhalten von Maillard- und Strecker-Abbauprodukten	588
5.6.3.8	Maillard-Produkte und Würze- bzw. Biereigenschaften	591
5.6.4	Veränderung von Schwefelverbindungen beim Würzekochen	596
5.6.4.1	Strecker-Abbau	596
5.6.4.2	Maillard-Reaktionen	596
5.6.4.3	Dimethylsulfid (DMS)	596
5.7	Energieverbrauch beim Würzekochen	599
5.7.1	Pfannendunstkondensator	599
5.7.2	Verringerung der Verdampfung	600
5.7.3	Brüdenverdichtung	601
5.7.3.1	Mechanische Brüdenverdichtung	601
5.7.3.2	Thermische Brüdenverdichtung	602
5.7.4	Kochung bei höheren Temperaturen	603
5.7.4.1	Innen- und Außenkocher	603
5.7.4.2	Überbarometrische Kochung	603

- 5.7.4.3 Hochtemperaturwürzekochung 604
- 5.7.4.4 Verringerte Verdampfung oder nur Heißhalten der Würze mit anschließender Vakuumbehandlung 604
- 5.7.4.5 Schlussfolgerung 606
- 5.8 Arbeitsweise und Ergebnisse von modernen Würzekochsystemen 607
 - 5.8.1 Verringerung der Verdampfung bestehender Würzepfannenanlagen 607
 - 5.8.2 Optimierung der Arbeitsweise des Außenkochers (einschließlich mechanischer Brüdenverdichtung) 609
 - 5.8.3 Innenkocher 610
 - 5.8.3.1 Niederdruckkochung (NDK) 611
 - 5.8.3.2 Dynamische Niederdruckkochung 612
 - 5.8.3.3 Innenkocher mit Zwangsanströmung 613
 - 5.8.3.4 Innenkocher mit Zwangsanströmung und Strahlpumpe 613
 - 5.8.3.5 Der Dünnschichtverdampfer 614
 - 5.8.4 Hochtemperaturkochung bei 120°C 616
 - 5.8.5 Die Hochtemperaturkochung bei 130–140°C 617
 - 5.8.6 Getrennte Kochung von Vorderwürze und Nachgüssen 618
 - 5.8.7 Vorkühlung der Würze 620
 - 5.8.8 Verfahren der Nachverdampfung im Vakuum nach dem Whirlpool 622
- 5.9 Das Ausschlagen der Würze 624
 - 5.9.1 Hopfenseiher 624
 - 5.9.2 Die Hopfentreber 626
 - 5.9.3 Treber aus Hopfenpulvern bzw. gemahlenem Hopfen 626
 - 5.9.4 Die Ausschlagwürze 627
 - 5.9.4.1 Der vergärbare Extrakt 628
 - 5.9.4.2 Die Menge der β -Glucane 628
 - 5.9.4.3 Das Niveau des Gesamtstickstoffs 628
 - 5.9.4.4 Die Stickstoff-Fractionen 628
 - 5.9.4.5 Die Polyphenolgehalte 628
 - 5.9.4.6 Die Bitterstoffgehalte 628
 - 5.9.4.7 Die Mineralstoffgehalte 629
 - 5.9.4.8 Der Würze-pH 629
 - 5.9.4.9 Die Viskosität der Würze 629
 - 5.9.4.10 Die Aromastoffe der Ausschlagwürze 629
 - 5.9.5 Die Treber 629
 - 5.9.5.1 Treber-Menge 630
 - 5.9.5.2 Treber-Zusammensetzung 630
 - 5.9.5.3 Treberförderung 630
 - 5.9.5.4 Trebersilos 631
 - 5.9.5.5 Treber-Verwertung 631
 - 5.9.6 Die Reinigung der Sudwerksanlage 632

- 5.9.6.1 Das Würzekochsystem 632
- 5.9.6.2 Nassschrotmühle 633
- 5.9.6.3 Die Maischgefäße 633
- 5.9.6.4 Sammelgefäße für Würze 633
- 5.9.6.5 Der Läuterbottich 633
- 5.9.6.6 Maischefilter 634
- 5.9.6.7 Würzekühlanlage 634
- 5.9.7 Die Automatisierung des Würzekochprozesses 635

6 Möglichkeiten des Einsatzes von Extraktresten und Prozessbieren im Bereich der Würzebereitung 637

- 6.1 Die Verwendung von Extraktresten der Würzebereitung 638
 - 6.1.1 Glattwasser/Treberpresswasser 638
 - 6.1.2 Hopfenglattwasser, Hopfentreber und Trub 639
 - 6.1.3 Brüdenkondensat 640
- 6.2 Die Verwendung von Prozessbieren und Überschusshefe 641
 - 6.2.1 „Weglaufbier“ 641
 - 6.2.2 Bier aus Überschusshefe 641
 - 6.2.3 Überschusshefe 643
 - 6.2.4 Sonstige Prozessbiere 643
- 6.3 Schlussfolgerungen 643

7 Die Sudhausausbeute 645

- 7.1 Berechnung der Sudhausausbeute 646
 - 7.1.1 Messwerte 646
 - 7.1.1.1 Schüttung 646
 - 7.1.1.2 Würzmenge 646
 - 7.1.1.3 Bestimmung des Extraktgehalts 647
 - 7.1.2 Berechnung der Sudhausausbeute 648
 - 7.1.2.1 Korrektur der Würzmenge 649
 - 7.1.2.2 Korrektur des Extraktwerts 650
 - 7.1.2.3 Die amtliche Formel 650
- 7.2 Beurteilung der Sudhausausbeute 650
 - 7.2.1 Vergleich Laboratoriums-/Sudhausausbeute 650
 - 7.2.2 Ausbeutebilanz 652
 - 7.2.3 Beurteilung der Extraktgewinnung nach DIN 8777 bzw. MEBAK 654
 - 7.2.4 Ursachen unbefriedigender Sudhausausbeuten bzw. zu hoher Treberverluste 655
 - 7.2.4.1 Der aufschließbare Extrakt 655
 - 7.2.4.2 Der auswaschbare Extrakt 656
 - 7.2.5 Schlussfolgerungen zum Thema Ausbeute 657

8	Die Würzebehandlung zwischen Sudhaus und Gärkeller	659
8.1	Allgemeines	659
8.1.1	Abkühlung der Würze	660
8.1.2	Sauerstoffaufnahme der Würze	660
8.1.2.1	Chemische Bindung des Luftsauerstoffs	660
8.1.2.2	Physikalische oder mechanische Bindung des Sauerstoffs	661
8.1.3	Ausscheidung des Heißtrubs	662
8.1.3.1	Beschaffenheit und Menge des Heißtrubs	662
8.1.3.2	Abhängigkeit des Heißtrubanfalls	663
8.1.4	Der Kühltrub	664
8.1.4.1	Beschaffenheit und Menge des Kühltrubs	664
8.1.4.2	Abhängigkeit des Kühltrubanfalls	665
8.1.4.3	Notwendigkeit der Kühltrubentfernung	666
8.1.5	Sonstige Vorgänge bei der Würzebehandlung	667
8.1.5.1	Die Zufärbung der Würze	668
8.1.5.2	Das Verhalten der Bitterstoffe	668
8.1.5.3	Flüchtige Substanzen	668
8.2	Verfahren der Würzebehandlung	669
8.2.1	Betrieb mit Kühlschiff, Berieselungskühler oder geschlossenem Kühler	669
8.2.1.1	Das Kühlschiff	669
8.2.1.2	Der Berieselungskühler	670
8.2.1.3	Geschlossene Kühler	671
8.2.1.4	Plattenkühler	671
8.2.1.5	Gewinnung der Trubwürze	672
8.2.1.6	Die Trubpresse	672
8.2.1.7	Zentrifugen	673
8.2.1.8	Beurteilung der Arbeitsweise mit dem Kühlschiff	673
8.2.2	Geschlossene Systeme	674
8.2.3	Abtrennung des Heißtrubs	675
8.2.3.1	Der Setzbottich	675
8.2.3.2	Moderne Setzbottiche	675
8.2.3.3	Der Heißtrubabsatz in der Sudpfanne	676
8.2.3.4	Der Whirlpooltank	677
8.2.3.5	Zentrifugen	690
8.2.3.6	Hopfentrubfilter	695
8.2.3.7	Die Kieselgurfiltration der heißen Würze	695
8.2.3.8	Abschließende Bemerkungen	697
8.2.4	Zusätzliche Behandlung der Würze zwischen Whirlpool und Platten-Plattenkühler	698
8.2.4.1	Die Abkühlung der Würze zwischen Pfanne und Heißwürzetauk/Whirlpool	698
8.2.4.2	Der Entspannungskühler	698
8.2.4.3	Die Nachverdampfung im Vakuum nach dem Whirlpool	699

8.2.4.4	Die Nachverdampfung bei Kochtemperatur	699
8.2.4.5	Zusammenfassung	700
8.2.5	Abtrennung des Kühltrubs	700
8.2.5.1	Der Anstellbottich	701
8.2.5.2	Kaltsedimentation	701
8.2.5.3	Die Kaltseparierung	703
8.2.5.4	Die Kaltwürzefiltration	704
8.2.5.5	Flotation	706
8.2.6	Vorrichtungen zum Belüften der Würze	710
8.2.6.1	Die benötigten Luftmengen	710
8.2.6.2	Belüftungskerzen und Metallplättchen	711
8.2.6.3	Die Schälscheibe des Heißwürzeseparators	711
8.2.6.4	Der Zentrifugalmischer	711
8.2.6.5	Das Venturi-Rohr oder der Strahlmischer	712
8.2.6.6	Der statische Mischer	713
8.2.6.7	Kombinierte Heiß- und Kaltbelüftung	713
8.2.6.8	Zweitbelüftung	714
8.2.6.9	Nach der Flotation	714
8.2.7	Der Dekanter	714
8.2.8	Automation der Würzekühlung	715
8.3	Kaltwürze-Ausbeute	716
8.3.1	Messwerte	716
8.3.1.1	Menge der kalten Würze	716
8.3.1.2	Extraktgehalt der Würze	718
8.3.2	Berechnung der Kaltwürzeausbeute	719
8.3.3	Unterschiede zwischen Sudhaus- und Kaltwürzeausbeute	719
8.3.3.1	Die Volumenminderung	719
8.3.3.2	Der Extraktschwand	720
8.3.4	Die Gesamtausbeute bei der Würzebereitung (Overall Brewhouse Yield – OBY)	721

9 Das Brauen mit hoher Stammwürze

9.1	Das Abläutern	723
9.2	Das Maischen	725
9.3	Das Würzekochen	725
9.4	Verwendung von Sirup oder Zucker	726
9.5	Würzebehandlung	726
9.6	Die weitere Behandlung der höherprozentigen Würze	726
9.6.1	Verdünnung im Kühlhaus	726
9.6.2	Verdünnung des Bieres vor oder nach der Filtration	727

9.6.3	Bierbeschaffenheit bei Vergärung von Würzen höheren Extraktgehalts	727
9.7	Einsparungen durch das Brauen mit hoher Stammwürze	728
9.7.1	Kapazität	728
9.7.2	Energieersparnis	729
10	Die Anordnung von Sudhaus und Würzebehandlung	731
10.1	Lage und Anordnung des Bereiches Würzebereitung	731
10.2	Die Einrichtung	733
10.2.1	„Einfache“ Sudwerke	733
10.2.2	Das „doppelte“ Sudwerk	733
10.3	Leistung des Sudwerks	734
11	Brauereianalytik – Probenahme, Behandlung und Versendung	737
11.1	Allgemeines	737
11.2	Wasser	738
11.3	Schüttgut	740
11.3.1	Statische Schüttgüter	740
11.3.2	Fließende Schüttgüter	741
11.4	Schrot	743
11.5	Treber	744
11.6	Hopfen	745
11.7	Maische und Würze	746
	Literaturverzeichnis	749
	Sachregister	775

